

# 人工軽量骨材の強度判定に対する一考察

川 上 英 男<sup>\*</sup>

## A Revised Test Method for Artificial Lightweight Aggregate

Hideo KAWAKAMI

(Received April 15, 1970)

For determining the aggregate strength, the author proposes a new method, in which the aggregate is reduced to one half in volume and embedded in fine sand (0.1–0.3mm) one layer after another, instead of being packed alone in test cylinder as in British Standard 812. The condition of aggregate thus produced is supposed to be more analogous to the one in concrete than in B. S. 812.

It was found that there was a linear relation between the compressive load and the crushing rate of expanded-shale aggregate when they were plotted on log-scale coordinates.

The discussion of the test result shows that the revised method has the advantage in deciding the individual strength of aggregate, which is different with its size and that the smaller is the particle, the greater is the strength of it.

### 1 序

近年建設工事量の増加に伴ない、天然産の骨材資源は乏しくなる一方であり、それに替わるものとして人工軽量骨材の利用が著しく伸びている。ところで、これを用いたコンクリートの破壊機構は川砂利コンクリートのそれとは根本的に異なっている面がある。すなわち、後者にあつては、粗骨材とモルタルの境界面の付着破壊がコンクリートの破壊の起因であるのに対し、前者ではW/Cの小さい範囲では骨材の破碎が境界面の付着破壊に先行する<sup>1)</sup>。したがって人工軽量骨材コンクリートの強度決定においては骨材強度を把握することが重要である。

この骨材強度試験としては、骨材が粒状で形がIrregularであるため、単独の試験体を整形することが困難な点もあつて、従来、骨材をそのまま一定の円筒に詰めてプランジャーで圧縮する方法が用いられている。その評価の仕方には、プランジャーの圧入量

(骨材の圧縮量)と圧縮力の関係を求めて、ある圧入量になったときの圧縮力をもって骨材破碎強度とするアメリカ開拓局の方法と、一定の圧力(40ton)のとき破碎された骨材の割合、または骨材の破碎率がある値(例えば13~9.5mmの粒が2.5mm以下になる割合が10%のとき)の圧縮力をもってあらわす英国規格(BS—812)の方法の二通りがある<sup>2)</sup>。これらの方法を用いて我国産の骨材について、調査した結果や、実積率、含水量の影響またコンクリート強度との関係などについても報告がみられる<sup>3,4,5)</sup>。

しかし、コンクリートの破壊機構の観点からこれらの試験法を観るとき、それが果して骨材の本質的強さを表わすものかどうかについて次の点で疑問がある。すなわち、一つは焼成骨材は不均質性である点があげられる。膨張性岩石(頁岩、凝灰岩等)を焼成して得る人工軽量骨材ではその鉱物組成や焼成過程に応じて発泡膨張してporousな構造になるが、同時に表面は

\* 建築学科

熔融してガラス質の硬い皮膜が形成される。したがって、同じ厚さの皮膜が生ずるとすれば粒の大小によって、その内部、外皮の割合が異なり、粒としての強さも異なってくるはずである。この点骨材全体にわたって等質な天然軽石とは趣きを異にする。しかるにプランジャー法の試料の粒度は、アメリカ開拓局の方法では  $1.2 \sim 2.5\text{mm} : 2.5 \sim 5\text{mm} : 5 \sim 10\text{mm} = 2 : 3 : 5$  に、英国規格では  $9.5 \sim 13\text{mm}$  に規定されている。この点焼成骨材に対しては不適当である。

第2はコンクリート中の骨材はモルタルに包まれた状態にあって、各種応力もモルタルを介して骨材には分布して作用するのに対し、上記試験では骨材相互の局部的接触によって力が伝えられる状況にある。この点コンクリート中の骨材強度を判定する手段としては十分とはいえない。

第3に米国式の場合の骨材粒の破碎状況は、必ずしも筒の中の骨材が一様に破碎するのでなく、破碎は上部プランジャーに接している部分からはじまり、漸時下部に波及してゆくことが著者によって観察されている<sup>6)</sup>。こういった状況のもとに得られた圧縮力・圧入量の関係から骨材強度を表わす場合その意味が曖昧である。この点については先に著者はその圧入量の小さい範囲の挙動に着目し、骨材の硬さの目安として、詰め込み深さの  $\frac{1}{400}$  の圧入量における圧縮力を取り上げることを提案したこともある<sup>6)</sup>。

本論ではこういった不備をなくし、コンクリート中の骨材の状態に近づけた条件のもとでの骨材強度を得る目的で、骨材間を更に小粒の材料で充てんすることを試みた。その各種条件の実験結果からこの方法の基本的性格や在来の方法との比較について検討を加え、骨材の本質的強度に関して考察を加えたものである。

## 2 材料および方法

人工軽量骨材としては、造粒焼成型のビルトンと破碎焼成型のメサライトをそれぞれ標準網フルイでふるい、表1のように整粒して用いた。含水量と骨材強度の関係についてはすでに言及されているが<sup>4)</sup>、ここでは気乾状態の骨材を用いた。骨材間を充てんする材料としては玉軸受鋼球 ( $3\text{mm}\phi$ ) またはセメント試験用標準砂 (山口県豊浦産) を用いた。鋼球は試験の都度磁石で回収し、くり返して使用したが、標準砂は毎回新しいものを用いた。各骨材の性質を表1に示した。

試験方法は英国規格に準じた。図1参照。

また、圧縮時にダイヤルゲージ ( $\frac{1}{400}\text{mm}$ ) で各荷重段階毎のプランジャー圧入量を測定した。この報告で

表1 粗骨材および充てん物

骨材種類	骨材粒径 (mm)	絶乾比重	表乾比重	吸水率 (o/wt)
ビルトン	8~10	1.37	1.58	19.2
	10~13	1.33	1.52	18.6
メサライト	8~10	1.28	1.54	19.6
	10~13	1.25	1.50	19.8
	13~16	1.20	1.46	21.6
玉軸受鋼球	3			
標準砂	0.3~0.1			

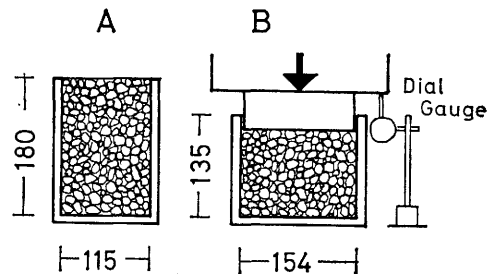


図1 測量器(A)と圧縮シリンダー(B)

は、コンクリート中での骨材の破碎を想定しているので、以下にいう破碎率というのは、試料に用いた健全な形のまま残ったもの以外はすべて破碎されたものとして扱い、その全試料に対する重量%を意味している。この点英国規格の  $2.5\text{mm}$  以下を指すのとは異なっている。圧入量は載荷初期は、測定が困難であるので  $1\text{ton}$  を基点とした。

## 3 予備実験

### 3.1 詰め込み深さについて

圧縮シリンダーの径に対して詰め込み深さが大きいと前述のように部分的な破碎が徐々に波及していく現象があるので、詰め込み深さを小さくすることが望ましい。そこで詰め込み深さを変えた場合の圧縮力と圧入量との関係を求めた。砂の場合を図2に、ビルトンと砂の混合については表2、図3に示した。

これらによれば、同一荷重における圧入量は試料の詰め込み深さにほぼ比例しているとみなされる。したがって以後試料の骨材量は英国規格の計量器の  $\frac{1}{2}$  とすることにした。

### 3.2 鋼球を骨材間充てん材とした場合

鋼球を充てんする際、骨材相互の接触が生じないように注意した。実験結果を表3A、図4に示した。骨

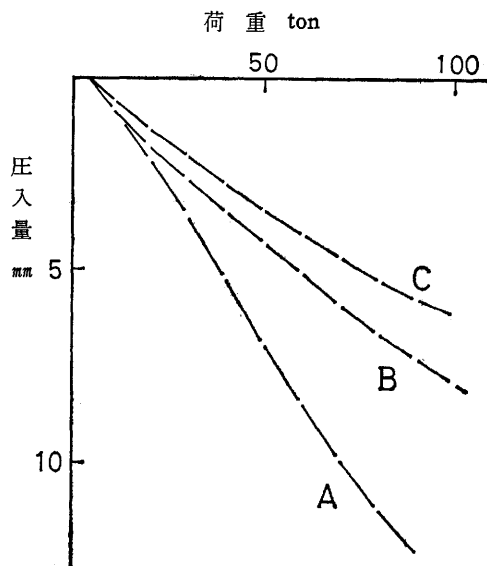


図2 標準砂の圧縮・圧入  
(A 砂2687g, B 砂1768g, C 砂1768g+ガラス玉16mm1406g)

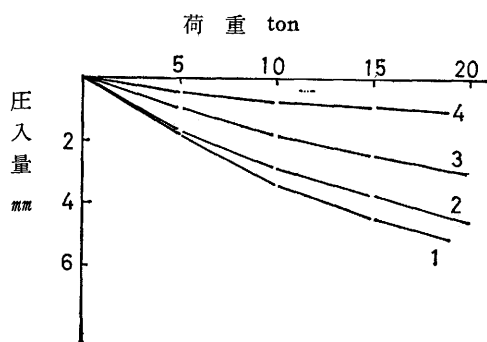


図3 試料の量と圧入量 (表2参照)

表2 ビルトン・砂量

試料 No.	1	2	3	4
体積比	1	3/4	1/2	—
ビルトン (8~10mm)(g)	1811	1358	906	140
標準砂(g)	1200	900	600	130
最終荷重(ton)	19	34	34	19.5
破砕率(%)	19	27	33	16

材量が同一でも鋼球を入れた場合の方がむしろ同一荷重に対する圧入量は減少している。骨材だけの場合(図4曲線4)は3ton 付近から圧入量の増加が急になっているのに対し、鋼球を入れた場合はそういった変化点はみあたらない。

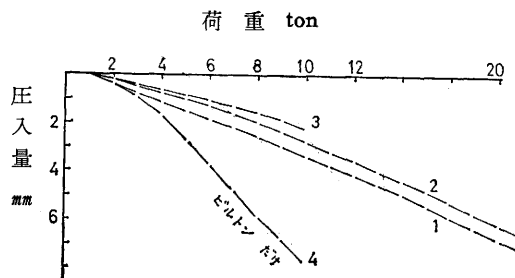


図4 鋼球を充てんした場合の効果 (表3参照)

同一荷重の破砕率を比較すると骨材単独の場合に対して鋼球を入れた場合は約1/2であって鋼球充てんによる荷重の分散効果が認められる。表3A参照。

表 3

	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
ビルトン 8~10mm	905	905	905	905
鋼球 3mm	868	868	868	0
A 最終荷重 (ton)	30	20	10	10
破砕率 (%)	78	66	28	53
ビルトン 8~10mm	905	905	905	
鋼球 3mm	868	868	868	
B キャッピング用標準砂	400	400	400	
最終荷重 (ton)	5	10	20	
破砕率 (%)	2.3	17	48	

一方、荷重・圧入量関係の再現性には乏しいうらみがある。これは加圧面に直接骨材が接しているためと考えられたので上下の加圧面付近には標準砂でキャッピングを施して実験をおこなった。結果を表3B、図5に示した。これによると上記再現性がよくなると同時に、破砕率は60~70%に減少している。

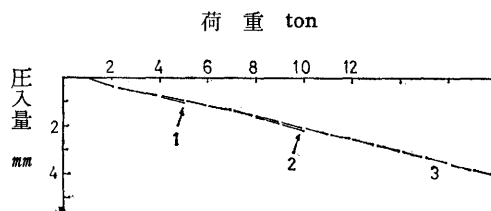


図5 鋼球充てんの上標準砂でキャッピング

以上の各方法によるビルトンに対する結果の比較を図6、7に示した。荷重の分布が行なわれる程破砕率や圧入量は減少すること、また圧入量と破砕率との関係にも差が生じてくることが認められる。

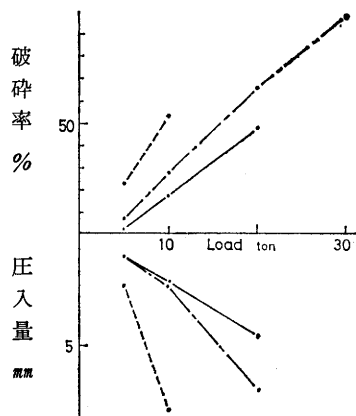


図6 充てんによる差

(.....骨材だけ, ---骨材+鋼球, ——骨材+鋼球+砂)

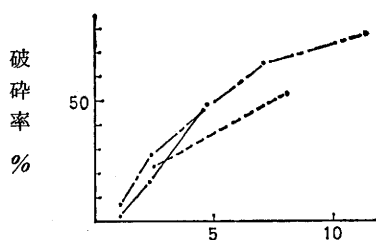


図7 充てんによる差 (図6 参照)

そこで鋼球充てんに標準砂でキャッピングを施す方法で各種骨材について行なった実験結果から荷重・圧入量、荷重・破砕率の関係を図8～11に示した。

これらによれば、荷重・圧入量関係についていえば、フルイ目1サイズ程度の差があってもこれらの関係に大きい差異は生じないこと、ビルトンがほとんど

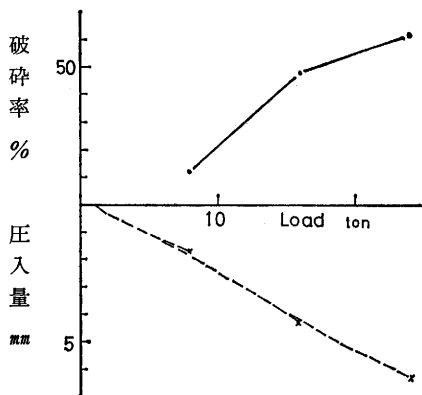


図8 ビルトン 8～10mm 890g, 鋼球735g

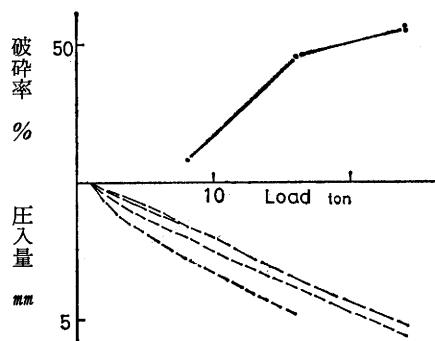


図9 ビルトン10～13mm850g, 鋼球895g

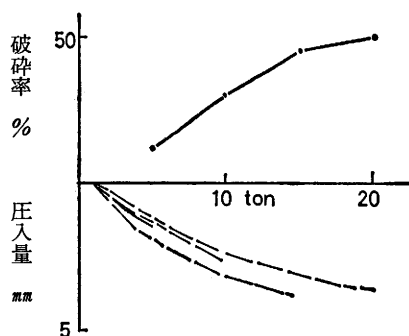


図10 メサライト10～13mm730g, 鋼球685g

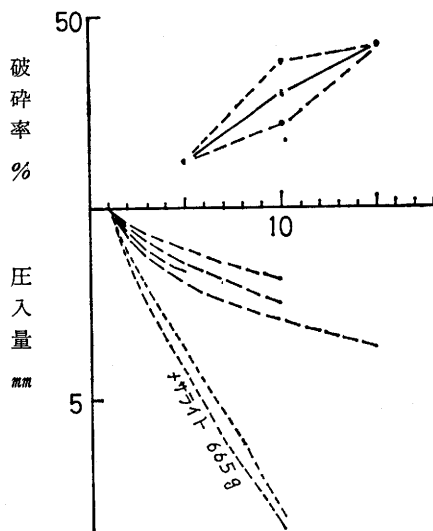


図11 メサライト13～16mm665g, 鋼球750g

直線的であるのに対し、メサライトでは下に凸の曲線となっている。荷重・破砕率については、いずれの場合も上に凸の傾向がみうけられる。また同サイズのビ

ルトンとメサライトを比較するとメサライトは低荷重で破砕率がより大きく高荷重ではむしろ小さくなる傾向がみられる。

いずれにしても、骨材粒径が大きくなる程荷重・圧入量の関係の再現性が劣ってくる傾向がみうけられる。

以上鋼球充てんによる効果が可成り明らかになり、充てん材を細粒化すれば更に荷重の分布が十分となることが推察された。そこで標準砂を充てん材として用いることにした。

#### 4 骨材間に標準砂を充てんした実験

実験結果を骨材種別、粒径別に図12~16に示した。

充てん物の細粒化の影響としては、次の2点があげられる。1) 圧入量の線はビルトン、メサライト共に直線的傾向が強まる。2) 破砕率線は、鋼球入りの場合とは逆に、下に凸の傾向を示してくる。

また、比較のために上記と同量の骨材だけを詰めて圧縮した場合の結果を図17~20に示した。

これらの破砕率・荷重の線はいずれも上に凸で、鋼球を充てんした場合と同様の傾向である。この粒径3

mmの鋼球では、骨材だけの場合の破砕形態を変えるに至っておらず、更に細かい充てん物が必要であったことを裏づけている。圧入量・荷重の線は直線またはやや上に凸である。

ビルトンよりはメサライトの方が、また、粒径が大きい方が圧入量の再現性は劣る傾向にある。

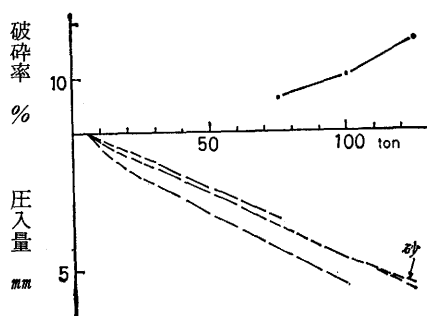


図14 メサライト 8~10mm 810g, 砂1200g

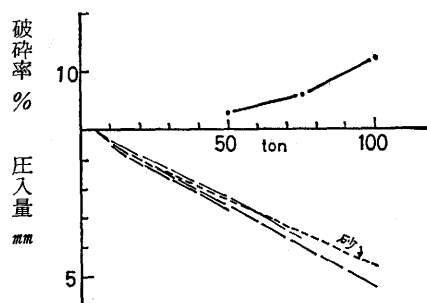


図15 メサライト 10~13mm 740g, 砂1285g

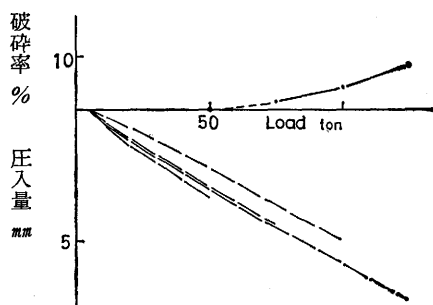


図12 ビルトン 8~10mm 920g, 標準砂1300g

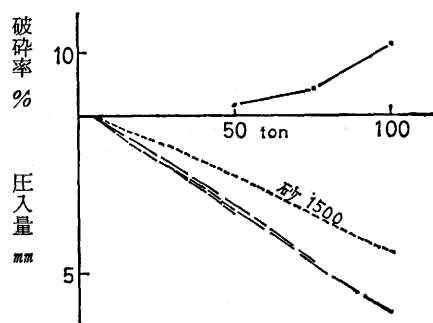


図13 ビルトン 10~13mm 850g, 砂1500g

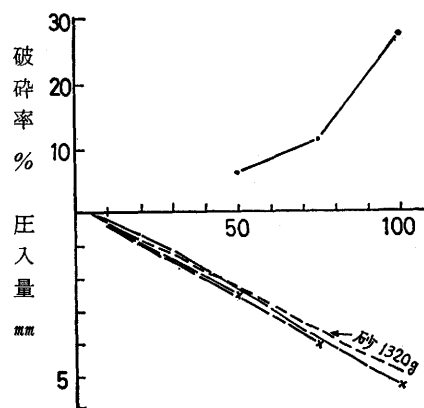


図16 メサライト 13~16mm 710g, 砂1320g

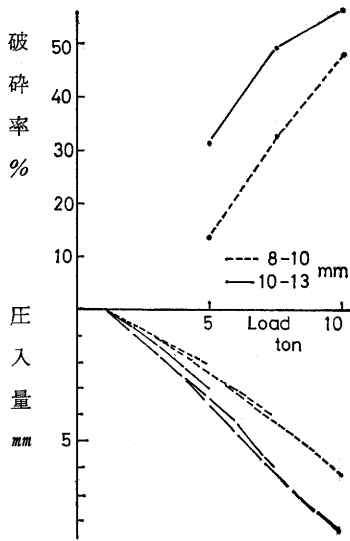


図17 骨材だけの圧縮 (ビルトン)

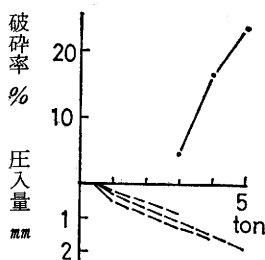


図18 メサライト (8~10mm) だけの圧縮

## 5 考 察

前節に述べた結果から骨材強度の指標とすべき要素として圧入量と破砕率がある。このうち圧入量はかなりよい再現性を示すようになったものの、粒径や骨材種別が異なってもほとんど差異がなく、強度指標としては不適當である。

これに対して破砕率の方は各試料間において差がかなり顯著であるのでこれを指標とすることにする。

### 5・1 荷重・破砕率関係

しかし、破砕率の線は下に凸であって、このままでは処理が困難であるので、荷重・破砕率間にある関係を把握することが必要となる。

そこでこれらの線の形から判断して、両対数グラフに書き直してみると図21、22のようになる。ここに両者は直線関係にあることが明らかとなった。これか

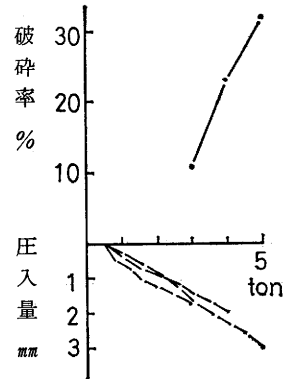


図19 メサライト (10~13mm) だけの圧縮

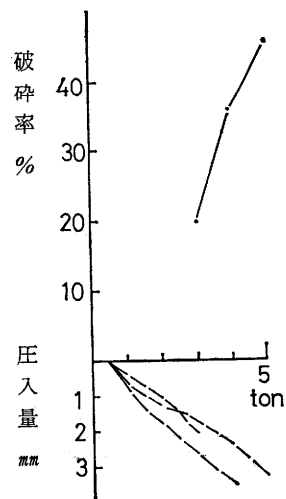


図20 メサライト (13~16mm) だけの圧縮

ら(1)式の関係式が立てられる。

$$\log B = a \log L + b \quad \dots\dots(1)$$

ここに  $B$  骨材破砕率 %

$L$  圧縮荷重

$a, b$  定数

実験結果から、 $a, b$ を決定すると表4のようである。

また、在来の方法と同様に骨材だけの場合の結果については、荷重だけを対数目盛とした片対数グラフに示すと図23、24のように、これもほぼ直線的な関係が得られる。これから(2)式がたてられ、それらの定数  $a' b'$  は実験結果から表5のように求められた。

$$B = a' \log L + b' \quad \dots\dots(2)$$

以上の考察からビルトン、メサライト共に同じ荷重に対しては粒径が小さい程破砕率が小さいこと、換言すれば骨材強度が大きいことが認められる。

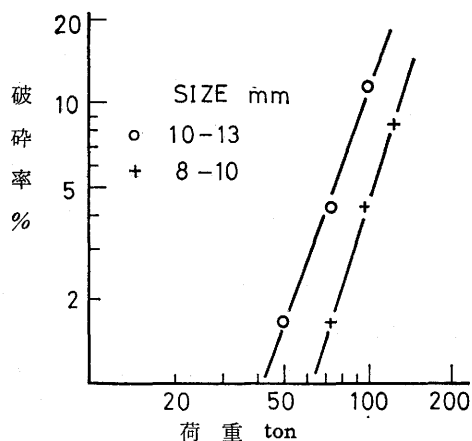


図21 破砕率・荷重関係（ビルトン+砂）

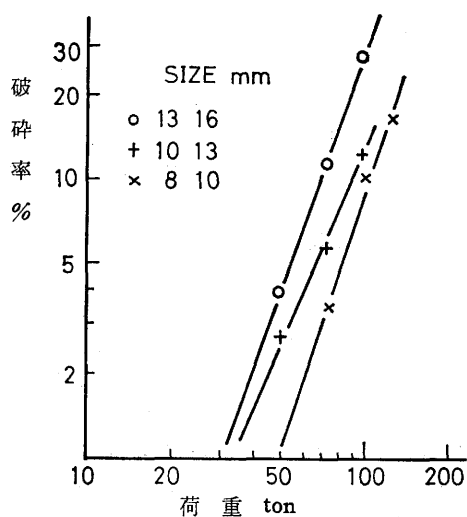


図22 破砕率・荷重関係（メサライト+砂）

表4 (1) 式の定数

骨材粒径 (mm)	ビルトン		メサライト	
	a	b	a	b
8 ~ 10	3.10	-5.54	3.72	-6.42
10 ~ 13	3.68	-6.27	2.80	-4.50
13 ~ 16	—	—	3.36	-5.24

表5 (2) 式の定数

骨材粒径 (mm)	ビルトン		メサライト	
	a'	b'	a'	b'
8 ~ 10	86.0	-27.5	89.1	-35.7
10 ~ 13	112.4	-65.2	97.6	-36.2
13 ~ 16	—	—	117.0	-37.4

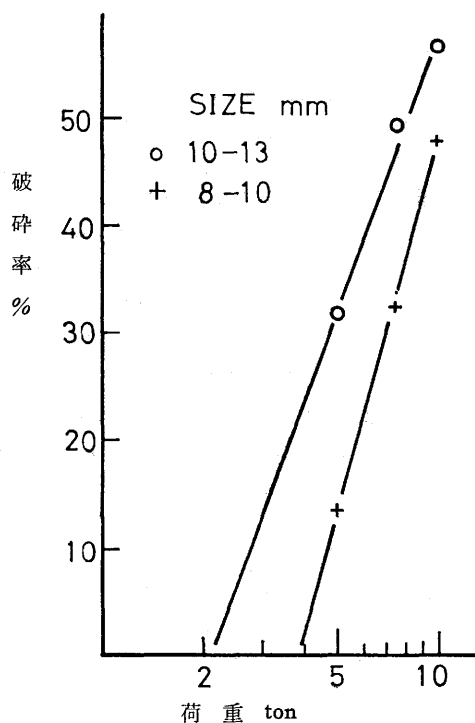


図23 破砕率・荷重関係（ビルトンのみ）

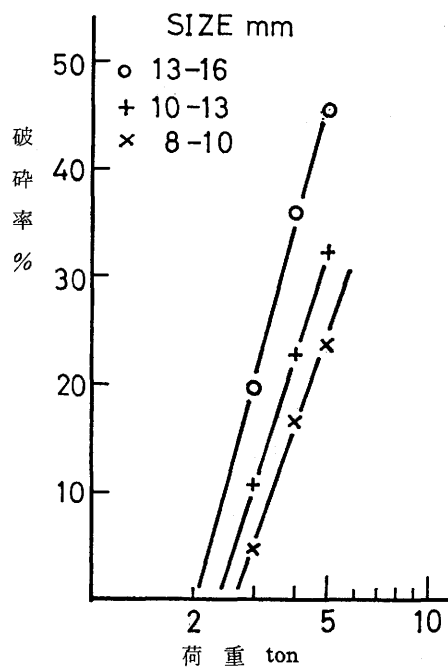


図24 破砕率・荷重関係（メサライトのみ）

## 5・2 強度指標

強度指標としてどの値をあてるかについてはコンクリート強度との関連性も考えねばならないことであるが、骨材試験結果から考察することにする。前節に得られた諸係数を用いるのも一方法であるが、骨材強度という概念に対してその物理的意味が明確でない不満がある。骨材破砕がコンクリート破壊の主因となる場合を対象としているので、その意味では骨材が破砕をはじめめる点、すなわち破砕率が0の中での最大荷重を強度の指標とするのがよいと思われる。これは前節の関係から外挿によって求めることができる。

しかし、図21, 22は対数グラフで0%破砕は求めにくいので仮に1%の破砕率の荷重をPとし、シリンダー面積をAとして骨材強度  $f_s$  を(3)式で表わすことにする。

$$f_s = P/A \quad \dots\dots(3)$$

また、骨材だけを試料とした場合についても比較のために1%破砕値を求めて同様に骨材強度  $f_o$  を(3)式によって求める。この結果を表6に一括して示した。

表6 骨 材 強 度

骨材種類	粒 径 (mm)	骨材強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	
		$f_s$ (標準砂を併用)	$f_o$ (骨材のみ)
ビルトン	8~10	335	20.9
	10~13	226	11.6
メサライト	8~10	261	14.5
	10~13	180	13.1
	13~16	162	11.2

## 5・3 試験方法の比較

在来の骨材だけを用いる方法がコンクリート中の骨材の挙動とは異なった条件にあることは先に述べた。しかし、この方法についても、5・1において荷重・破砕率関係が明らかにされ、一つの指標が求められることになると、これを便宜的に用いる可能性も出てくる。そこで表6の値にもとづいて検討を加えておくことにする。

各骨材粒径毎にビルトンとメサライトの骨材強度の比を  $f_s$ ,  $f_o$  それぞれについて求めたのが表7である。

これによると砂を充てんした場合の強度比はほぼ等しく80%前後となっているのに対して、骨材単独の場合にはかなりの差が生じているのがみられる。骨材の焼

表7 骨 材 強 度 比  
(1%破砕値;メサライト/ビルトン)

粒 径 (mm)	砂を充てん	骨 材 の み
8 ~ 10	261/335=0.78	14.5/20.9=0.70
10 ~ 13	180/226=0.80	13.1/11.6=1.18

成過程における表面溶融が同程度で粒径が同じであれば強度比はほぼ同じ値を示すと考えるのがより妥当である。この点からも骨材の本質的な強度の指標とするには標準砂を充てんする方法の方が適確ということができよう。

## 6 む す び

人工焼成骨材を対象として、英国規格の骨材試験法に修正を加え、 $\frac{1}{2}$ の骨材量とし、更に骨材間を細粒で充てんする方法について実験的に検討を加えた結果、次のことが見出された。

- 1) 骨材間に 3mm $\phi$  の鋼球を充てんするときは荷重を骨材表面に分布させる効果はみられるが、荷重と破砕率の基本的関係を変えるまでには至らない。標準砂を用いるときはその関係を変えるに至り、破砕に要する荷重は骨材単独の場合の13~37倍となる。
- 2) 荷重と破砕率との間には骨材種別、粒径毎に一定の関係が存在し、これから破砕率1%の圧縮力をもって骨材強度とすることも可能となった。
- 3) 上記と類似の関係は骨材単独の試験においても存在する。ただしそれによって表わされる骨材強度は普遍性において劣る。
- 4) 頁岩系人工骨材は粒径が小さい程骨材強度は大きい。

以上骨材の本質的な強度をより忠実に表現する手段として新しい試験方法を提案し、その性格について実験的に明らかにした。本論に述べた骨材強度の指標のとり方についてはコンクリート強度との関連において捉えるべきであるが、今回は骨材自体の強度に関する基礎的事項にとどめた。

## 謝 辞

本研究の実験の多くは、当時在学中の藤岡、安村両君のご協力によるものであります。ここに記して謝意を表します。



## 参 考 文 献

- 1) 川 上 : "粗骨材とコンクリート強度に関する基礎的研究"  
日本建築学会論文報告集 No. 167, Jan. 1970  
pp. 7~12.
- 2) 白 山 : "人工軽量骨材の性質"  
コンクリートジャーナル Vol. 4, No. 12,  
1966, Dec. p.13
- 3) 爾見・嶋谷 : "コンクリート骨材の破砕値とコンクリート強度"  
セメント技術年報 Vol. 20, 1966 pp.292  
~297
- 4) " " "コンクリート用骨材の破砕強度に及ぼす含水量と軟石の影響について"  
セメント技術年報 Vol. 21, 1967 pp. 316~  
320

- 5) " " "骨材の強度とコンクリート強度の関連について"  
セメント技術年報 Vol. 21, 1967 pp.  
321~325
- 6) 川上・西元 : 頁岩・陶石系人工骨材の開発とそのコンクリートへの利用"  
日本建築学会論文報告集 No. 144, Feb. 1968  
pp.1~6

(昭和45年4月15日受理)